

Expression micromorphologique de la micro-agrégation et de l'illuviation dans certains horizons de sols ferrallitiques centrafricains et dans les sols hydromorphes associés

A.-G. BEAUDOU

Pédologue de l'ORSTOM, Bangui, R.C.A.

RÉSUMÉ

L'étude microscopique de certains sols rouges, profonds des hauts plateaux de l'Ouest de la République Centrafricaine permet de les caractériser par leur structure à micro-agrégats et par l'absence d'illuviation argileuse. Par contre, les horizons à accumulation d'éléments grossiers ferrugineux de certains sols se distinguent par une illuviation importante d'argile visualisée par de nombreux cutanes. De même dans les sols hydromorphes et dans les horizons d'altération des sols ferrallitiques observés, l'illuviation argileuse, le plus souvent intense, paraît être un caractère assez général.

SUMMARY

The microscopical study of some red deep soils of the high westcentrafrican plateaus allow to characterize them by their micropedal structure and the absence of clay illuviation. On the other hand are the horizons of ferruginous gravels accumulation distinguishable by an important clay illuviation represented by many cutans. Likewise into the hydromorphic soils and into the weathering horizons of ferrallitic soils seems the often intense clay illuviation to be a sufficiently general character.

PLAN

Introduction

1. La micro-agrégation

2. L'illuviation

2.1. Dans les horizons à accumulation d'éléments grossiers

2.2. Dans les sols hydromorphes

2.3. Dans les horizons d'altération

Conclusions

INTRODUCTION

Cet article regroupe les premières observations micromorphologiques faites sur les sols ferrallitiques

de la République Centrafricaine et dévoile plusieurs caractères d'organisation particuliers à ces sols. Plusieurs types de sols, développés sur des roches variées, sont analysés principalement du point de vue de la microstructure, de l'illuviation argileuse et de la structure des éléments grossiers ferrugineux. Ces traits micromorphologiques paraissent être les plus caractéristiques des sols ou des horizons étudiés.

1. LA MICRO-AGRÉGATION

Ce caractère micromorphologique a été étudié dans les sols du nord-ouest de la République Centrafricaine.

1.1 - Caractères généraux et morphologie

Les sols à micro-agrégats ont été reconnus dans une région de savane dont la pluviométrie est comprise entre 1 400 et 1 600 mm. Leur roche mère est constituée par un ensemble granito-gneissique. Ils occupent de hauts plateaux compris entre 1 000 et 1 200 m d'altitude. Ces plateaux peuvent être largement étendus, avec un diamètre de l'ordre d'une dizaine de kilomètres ou réduits à d'étroites lanières ou à de minuscules parcelles. Le drainage intérieur des plateaux de grande dimension est assuré par de petits marigots peu encaissés aux berges fortement cuirassées. Les profils étudiés sont ceux des bassins de la M'Bilali et de la Toro (affluents de la Kouï). Leurs coordonnées géographiques sont respectivement de 6°50' et 6°55' de latitude nord pour une même longitude est de 15°25'. Leurs altitudes sont de 1 156 et 1 240 m.

Ces sols rouges aliatiques, font partie de la grande série de Ouagadougou (CHATELIN *et col.*, 1972). La couleur des profils varie de brun-rouge (2,5 YR 3/4) en surface à rouge (10 R 4/6) en profondeur. Tout le profil est riche en argile mais possède, du fait d'une activité biologique intense et de sa structure une très bonne porosité. Les lames étudiées ont été prélevées dans les structichrons.

1.2 - Micromorphologie

Sous le microscope, la tendance du fond matriciel à s'organiser en micro-agrégats, la très forte porosité et l'activité biologique intense apparaissent comme les caractères essentiels et se retrouvent pratiquement dans tout le profil.

L'abondance du squelette est variable selon les profils, mais dans les horizons supérieurs il représente toujours une partie relativement importante des lames. Dans les horizons profonds il est en quantité moindre. Son aspect micromorphologique demeure pratiquement constant dans tout le profil. De nature essentiellement quartzeuse ce squelette peut se diviser en deux groupes d'individus de tailles différentes.

— Le *macrosquelette* regroupe les grains de quartz d'un diamètre supérieur à 150 microns. Tous les individus sont fortement fissurés et corrodés. La plupart du temps les fissures sont remplies d'hydroxydes de fer rouge assez vif. La surface des grains montre un picotisme assez dense, signe d'une attaque chimique sensible. Leurs contours sont fort irréguliers du fait de la présence

de nombreux golfes de corrosion ou poches de dissolution confirmant cette attaque chimique du macrosquelette. Un certain nombre d'individus sont entourés d'un cortex souvent incomplet de plasma assez fortement orienté.

— Le *microsquelette* rassemble des grains de quartz de petite taille dont le diamètre varie de quelques microns à 150 microns. Les individus de plus grand diamètre sont de très loin les moins bien représentés. L'habitus le plus fréquemment observé est arrondi ou ovoïde. La fissuration se limite aux plus grands grains de quartz, mais le picotisme affecte la surface de tous les individus.

L'importance générale moyenne du squelette par rapport au plasma peut être estimée à 30 ou 35 %.

La distribution relative du squelette par rapport au plasma est de deux types.

— Le plasma se présente comme une masse importante dans laquelle les grains du squelette se répartissent à la manière des phénocristaux dans une roche à structure porphyrique. La distribution est dite *porphyrosquelique*.

— Le plasma se répartit dans les espaces intergranulaires existants entre les grains de quartz du squelette en constituant un remplissage plus ou moins complet. La distribution est alors *aggloméroplasmique*.

La distribution du macrosquelette varie entre *porphyrosquelique* et *aggloméroplasmique*. Pour le macrosquelette elle est *porphyrosquelique*.

A la différence des sols de la zone tropicale plus sèche observés par BOCQUIER (1971), on ne remarque aucun arrangement particulier du squelette. L'arrangement laminaire (coiffe, vide sous-laminaire) ne semble pas exister dans ce type de sol ferrallitique.

Le plasma, très abondant, présente en lumière polarisée non analysée un aspect typique en « peau d'orange » dû à sa grande richesse en minuscules grains de quartz et granules d'oxydes de fer ou de manganèse. La teinte dominante est rouge. Le plasma argileux, non orienté et sans séparation plasmique montre un arrangement *argilasépique* ; c'est le cas le plus général. Il existe par endroits des plages parfois assez importantes où l'arrangement *masépique* est caractérisé par des séparations plasmiques orientées selon une direction en longues bandes parallèles. Dans quelques cas cet arrangement peut être *bi-masépique* ; les bandes formées par les séparations plasmiques s'orientent alors selon deux directions formant un angle quelconque entre elles. Dans certains micro-agrégats se détachent sur l'ensemble du fond matriciel,

de petites plages brillantes et orientées représentant les séparations plasmiques. L'arrangement est alors *insépique*.

Le fond matriciel (squelette fin et plasma) montre une tendance très nette à la formation de micro-agrégats. Ce caractère apparaît à la base de l'horizon humifère où il s'observe le plus facilement. Il est cependant visible avec plus ou moins d'intensité dans tous les horizons inférieurs.

La première ébauche se caractérise par une légère concentration d'hydroxydes de fer formant des amas plus rouges et plus denses à l'intérieur du fond matriciel, (planche I.1 et I.2). Conjointement à cette condensation, il se produit autour de ces zones une décoloration du plasma qui devient plus jaune (planche I.3). Ultérieurement des séparations plasmiques très fines apparaissent ; elles délimitent le futur micro-agrégat (planche I.4). Cette apparition s'accompagne, dans les zones décolorées, de très fines fentes qui s'organisent selon un réseau approximativement orthogonal (planche I.3). La concentration en hydroxydes s'accroît. Plus tardivement le réseau de fentes devient plus important. Les fentes s'élargissent pour aboutir à la séparation des micro-agrégats. De l'intérieur vers l'extérieur on observe donc : une ou plusieurs zones centrales rouge vif très riches en hydroxydes de fer, arrondies ou ovoïdes et entourées d'un cortex de fond matriciel plus ou moins régulier et sensiblement moins coloré. Cette dernière différenciation peut ne pas exister ; un nombre non négligeable de micro-agrégats ne montrent qu'un noyau central intensément coloré et entouré d'un fin cortex orienté. La séparation plasmique, en général très fine, plus ou moins complète constitue la limite externe de cette zone. Tout à fait à l'extérieur des micro-agrégats on observe parfois une auréole de plasma jaune décoloré le plus souvent réduite à quelques petits lambeaux (planche I.5 et 6).

La taille des micro-agrégats est très variable et les diamètres se situent entre une dizaine de microns et 500 microns (planche II.1). Les phénomènes décrits ci-dessus s'observent à l'intérieur des plus gros micro-agrégats et on aboutit ainsi à une très grande fragmentation du fond matriciel. La formation de ces micro-agrégats semble être due à des *mouvements d'amplitude réduite* à l'intérieur de la masse du fond matriciel. L'arrangement plasmique à l'intérieur des micro-agrégats est *asépique* ou *insépique*. Le caractère *insépique* est plus marqué lorsque les micro-agrégats ne sont qu'incomplètement formés. Dans les zones fortement orientées, masépiques ou bimasépiques, les micro-agrégats ne sont pratiquement pas individualisés. On observe seulement, par endroits, des plages

de décoloration avec de très fines fentes parallèles ou sub-parallèles aux directions de l'orientation plasmique. Il s'agirait là du premier morcellement du fond matriciel précédant la formation des micro-agrégats. L'élaboration des micro-agrégats paraît donc s'accompagner d'une transformation de l'arrangement plasmique qui passerait au fur et à mesure de l'accentuation de la fragmentation de masépique à in-lattisépique, puis insépique et finalement dans les micro-agrégats les plus fins au type asépique (l'arrangement lattisépique peut être considéré comme un cas particulier de l'arrangement bi-masépique. En effet, les séparations plasmiques sont orientées selon deux directions approximativement orthogonales mais au lieu de former de longues bandes elles sont disposées à la manière d'un treillis). Il faut cependant noter que les micro-agrégats asépiques sont ceux qui montrent la plus forte concentration d'hydroxydes. Les hydroxydes peuvent alors masquer l'orientation plasmique si elle existe dans ces micro-agrégats.

Une des caractéristiques essentielles de ces sols est le fort développement de la porosité qui se visualise de différentes façons :

— Les *vides d'entassement*, ortho ou méta. Ils se répartissent entre les plus gros grains de squelette et entre les micro-agrégats et proviennent alors de l'élargissement des fentes qui sont à l'origine de la séparation de ces micro-agrégats.

— Les *fentes*, déviées ou désordonnées. Elles limitent les micro-agrégats en formation. L'origine de ce type de vide est due à des mouvements de rétraction à l'intérieur du fond matriciel.

— Les *cavités*, plus ou moins irrégulières et de type ortho ou méta. Leur origine est vraisemblablement biologique.

— Les *chenaux* ont eux aussi une origine biologique. Le diamètre moyen de ces chenaux varie entre 200 et 300 microns.

Il est intéressant de noter l'évolution de la nature d'une partie de la porosité en fonction de l'état d'individualisation des micro-agrégats. Effectivement lorsque les micro-agrégats sont peu individualisés la porosité est une porosité de fines fentes. Lorsque les micro-agrégats commencent à s'isoler les fentes s'élargissent. Finalement, dans les zones à micro-agrégats complètement séparés, les vides d'entassement représentent la porosité. On passe donc au fur et à mesure de l'individualisation des micro-agrégats d'une porosité de fentes à une porosité de vides d'entassement.

PLANCHE I

De gauche à droite et de haut en bas :

1. *Concentration d'hydroxydes à l'intérieur du fond matriciel :*
Les concentrations sont représentées par les taches noires arrondies ou ovoïdes. Les petites zones blanches plus ou moins allongées représentent les fentes qui commencent à apparaître. La plage blanche du coin gauche est un grain de quartz.

Lame BCV 76 (Y. CHATELIN), 100×, LPNA.

2. *Concentration d'hydroxydes à l'intérieur du fond matriciel :*
Photographie à assez fort grossissement des taches noires de concentration d'hydroxydes qui montre leur aspect granulaire. Cette photographie révèle en plus l'aspect en « peau d'orange » du plasma.

Lame BCV 77 (Y. CHATELIN), 400×, LPNA.

3. *Orthoréticulation du fond matriciel :* Un fin réseau de fentes apparaît en blanc dans la masse gris plus ou moins foncé du fond matriciel. Ce réseau se développe selon deux directions approximativement orthogonales. Les petites zones gris assez clair correspondent à des plages de décoloration où, en général apparaissent les fentes.

Lame BCV 73 (Y. CHATELIN), 400×, LPNA.

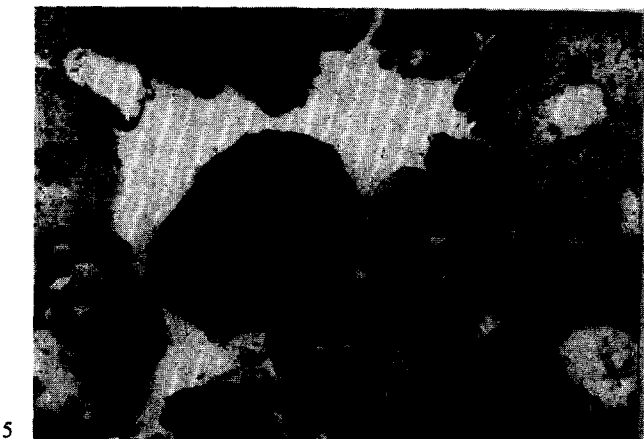
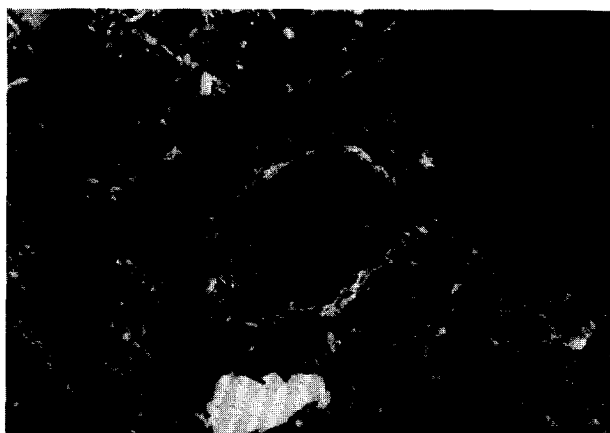
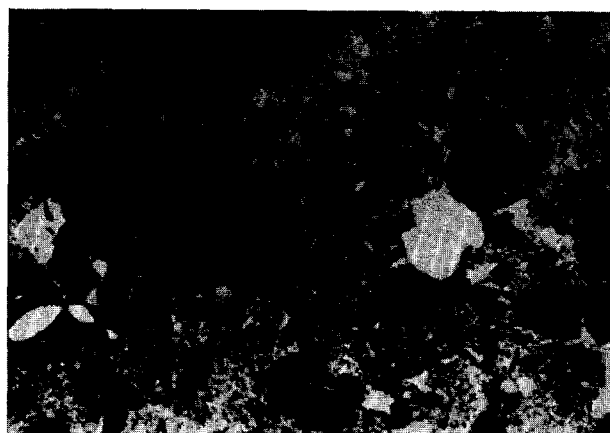
4. *Séparation plasmique formant un cortex orienté plus ou moins régulier autour d'un micro-agrégat :* Dans cette photographie en lumière polarisée analysée, les séparations plasmiques forment un liseré blanc brillant qui entoure le micro-agrégat gris foncé situé au centre.

Lame BCV 77 (Y. CHATELIN), 400×, LPA.

5 et 6. *Exemples de micro-agrégats avec leur concentration centrale d'hydroxydes.*

Les micro-agrégats bien individualisés montrent une zone centrale gris très foncé enrichie en hydroxydes et une zone externe plus claire. Le reste des photographies représente le fond matriciel incomplètement morcelé en micro-agrégats.

Lame BCV 73 (Y. CHATELIN), 400×, LPNA.



L'activité biologique très intense dans tous les horizons de ces sols, déjà mise en évidence par les cavités et les chenaux, se matérialise aussi par la présence de nombreux *aggrotubules* (planche II.2). Ils sont remplis de micro-agrégats asépiques dont le diamètre varie entre 10 et 40 microns.

La dernière caractéristique micromorphologique de ces sols est l'absence pratiquement totale d'illuviation argileuse. Les cutanes (ferri-argillanes et ferranes) ne sont qu'exceptionnels dans les structichrons et ne sont donc absolument pas représentatifs de l'illuviation.

Micromorphologiquement ce type d'horizon se caractérise donc par une structure à micro-agrégats, par une intense activité biologique et par l'absence quasi totale d'illuviation argileuse malgré leur très forte porosité.

2. L'ILLUVIATION

L'illuviation dans les sols ferrallitiques, visible parfois à l'échelle macroscopique, se révèle, dans toute son ampleur au niveau de la lame mince. Les formes d'accumulation s'observent essentiellement dans les horizons à concentration d'éléments grossiers, dans les horizons d'altération et dans les horizons hydromorphes. Ce phénomène est aussi présent dans les sols hydromorphes.

2.1 - Dans les horizons à accumulation d'éléments grossiers

2.1.1. CARACTÈRES GÉNÉRAUX ET MORPHOLOGIE

Les horizons souvent appelés gravillonnaires caractérisent un assez grand nombre de sols ferrallitiques. Les exemples étudiés font partie de la grande série d'Agoudou-Manga (BEAUDOU, 1972). Ils ont été prélevés près du village d'Agoudou-Manga situé à une cinquantaine de kilomètres au nord-est de Bambari, préfecture de la Ouaka. Ces sols sont le plus souvent situés sur les sommets des collines et sur les deux-tiers supérieurs de la pente. Les coordonnées géographiques sont 5°55' de latitude nord et 20°56' de longitude est. Ils sont caractérisés par un horizon supérieur humifère, appauvri en argile, montrant fréquemment à sa base un niveau d'accumulation

d'éléments grossiers. A la suite de l'horizon humifère on observe le ou les horizons d'accumulation d'éléments grossiers proprement dits. Les éléments grossiers sont essentiellement ferrugineux mais peuvent contenir parfois un assez grand nombre de lithoreliques plus ou moins imprégnées ou enrobées d'hydroxydes et d'oxydes de fer. La teneur en éléments grossiers est élevée et varie entre 40 et 70 %. La couleur est toujours d'un rouge assez vif (2,5 YR 4/6 ou 10 R 4/6). Le profil se poursuit par des horizons rouges et meubles qui passent progressivement à des horizons d'altération. Dans les sols les moins développés ces horizons sont réduits et parfois absents ; les horizons gravillonnaires sont alors directement en contact avec les horizons d'altération.

2.1.2. MICROMORPHOLOGIE

L'illuviation extrêmement importante dans les horizons d'accumulation d'éléments grossiers se retrouve aussi à la base des horizons humifères en particulier lorsqu'ils possèdent à leur partie inférieure une concentration, parfois assez importante d'éléments grossiers ferrugineux. L'illuviation est aussi visible, d'une façon assez discrète dans les horizons inférieurs rouges et un peu plus nettement dans les horizons d'altération.

Les éléments grossiers ferrugineux

Leur structure est en général extrêmement complexe. Le plus souvent ils ont fossilisé les traces d'une ou plusieurs phases alluviales. Ces traits fossiles sont les représentants des plus anciennes périodes d'illuviation visibles dans ces horizons (planche II.4). On remarque, en effet, la présence de cutanes, *ferri-argillanes* et *ferranes* soit à l'intérieur des nodules soit à leur périphérie.

Les plus anciens cutanes sont ceux qui ont été emprisonnés dans la masse d'oxydes et d'hydroxydes de fer qui s'est accumulée lors de la formation de ces nodules. Ils sont antérieurs aux nodules eux-mêmes. De façon identique d'assez nombreux ferranes et ferri-argillanes se sont déposés dans les fissures des lithoreliques avant leur ferruginisation. Par la suite les ferranes et parfois les ferri-argillanes se sont concentrés à la périphérie des nodules et forment ainsi un cortex orienté illuvial de deuxième génération vraisemblablement contemporain de la formation des nodules. Ces périodes d'illuviation sont fossiles. L'illuviation actuelle s'observe dans le matériau pédologique fin.

Lors de cette analyse plusieurs types de nodules ou de concrétions ont pu être mis en évidence :

— Les plus nombreux à Agoudou-Manga sont d'anciens grenats pseudomorphosés en oxydes de fer. Les oxydes de fer forment un réseau complexe et sont le plus souvent cristallisés en fines aiguilles perpendiculaires aux fissures. Ces cristallisations peuvent être jaunes ou rouges. Dans ces anciens grenats il est fréquent d'observer des grains de quartz et des paillettes de muscovite le plus souvent complètement transformées en kaolinite (kaolinite en accordéon). Les restes de grenat non altérés permettent de reconnaître la variété Almandin ($\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$). Comme tous les nodules ces grenats pseudomorphosés sont entourés plus ou moins complètement par un cortex d'illuviation qui constitue la limite externe du nodule.

— Un assez grand nombre de nodules est constitué de lithoreliques de quartzite et de micaschiste qui ont été enrobés par des oxydes et hydroxydes de fer. La limite externe du nodule est représentée par un cortex de ferri-argillanes rouge vif à rouge foncé assez fortement orienté qui matérialise la dernière phase illuviale ayant contribué à l'élaboration du nodule.

— Un troisième type de nodule, plus complexe, se rencontre assez fréquemment. On observe, toujours limité par un cortex orienté rouge sombre, une masse de matériau pédologique fin fortement imprégné d'oxydes et d'hydroxydes de fer, de couleur très foncée pouvant aller jusqu'au noir (planche II.5.). Cette masse contient souvent d'anciens ferranes et ferri-argillanes (papules), des cristaux de muscovite plus ou moins altérés, de la kaolinite en accordéon, des lithoreliques et des restes d'anciens grenats pseudomorphosés. Papules, amas de kaolinite, lithoreliques, anciens grenats sont eux-mêmes entourés d'un mince cortex noir sensiblement plus orienté que le reste du matériau environnant. Ce type de nodule est donc extrêmement compliqué. Ce que l'on observe actuellement est le résultat d'une nodulation secondaire qui a englobé les nodules simples de première génération. Il est intéressant de noter que ces deux générations de nodules se terminent par une période illuviale matérialisée par le cortex noir orienté.

— Des nodules constitués uniquement d'une concentration d'oxydes et d'hydroxydes de fer entourés d'une mince bande irrégulière moins riche en fer, elle-même limitée extérieurement par des ferri-argillanes formant le cortex, se rencontrent parfois dans ces sols.

— Un dernier type d'élément grossier s'observe exceptionnellement dans ces horizons. Il s'agit de concrétions ferrugineuses arrondies ou ovoïdes, à

structure concentrique (planche II.6). On note l'alternance de couches rouge foncé et rouge plus clair. Ces différentes couches ne sont que très faiblement orientées.

L'étude de ces nodules permet à elle seule de mettre en évidence la succession des différentes périodes illuviales qui ont présidé à leur élaboration. Il faut cependant noter que l'illuviation n'est vraisemblablement pas le seul phénomène qui ait joué lors de la formation de ces horizons.

Le matériau fin

Ce matériau se caractérise par un squelette peu abondant et de nature essentiellement quartzreuse. Les grains de quartz ont, dans la majorité des cas, un habitus polyédrique ou polyédrique arrondi. Pratiquement tous les individus montrent les traces d'une attaque chimique parfois importante (golfes de corrosion, picotis,...). Seuls les individus de grande taille sont assez fortement fissurés. Dans ces fissures se concentrent oxydes et hydroxydes de fer. Aux grains de quartz s'ajoutent des paillettes de muscovite plus ou moins altérées en kaolinite.

La distribution relative du squelette par rapport au plasma est *aggloméroplasmique* pour le macrosquelette et *porphyrosquelique* pour le microsquelette.

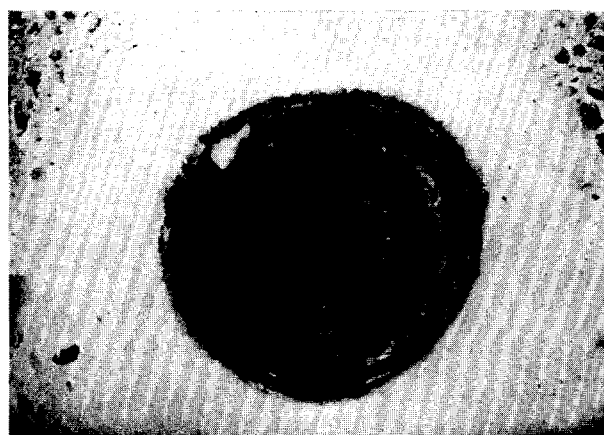
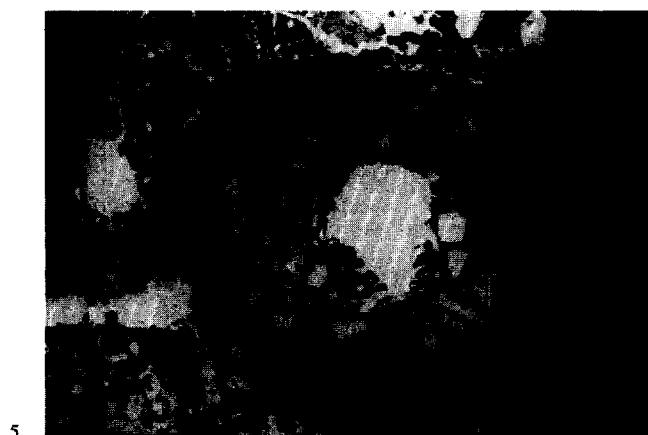
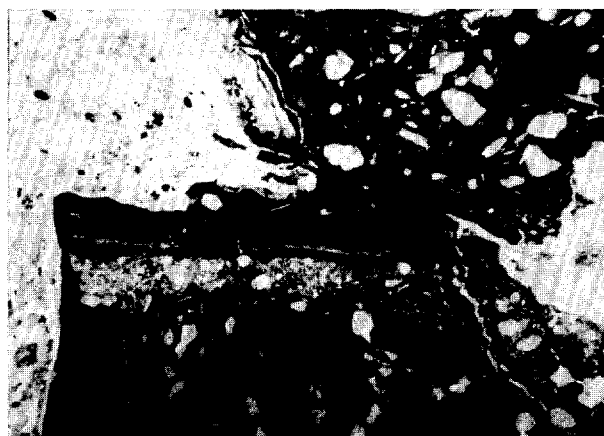
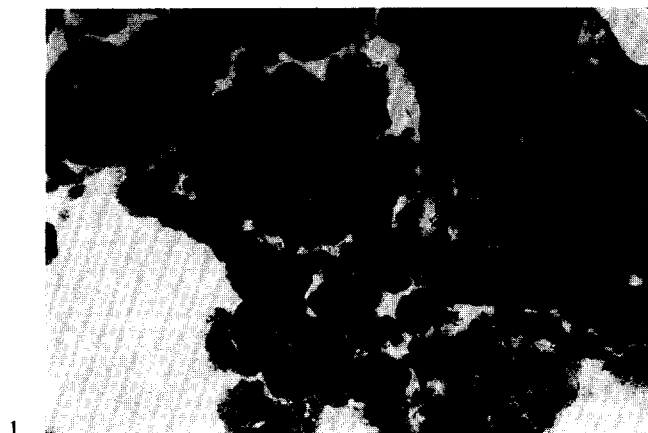
Le plasma, relativement abondant s'identifie par son aspect dense, sa couleur rouge intense et par son arrangement. L'orientation plasmique, assez accentuée, varie de *insépique* à *ma-lattisépique*. Au voisinage des vides, des gros grains de squelette et des éléments nodulaires l'arrangement plasmique est *vo-insépique* et *vo-masépique* ou encore *squel-insépique* et *squel-masépique*.

Le fond matriciel est peu organisé. Les micro-agrégats sont assez rares. On observe en général des agrégats de grandes dimensions limités par un réseau de fentes assez fines plus ou moins polyédrique.

La porosité élevée dans ces horizons est liée, en partie, à la présence des nodules. Effectivement, autour de presque tous les nodules on remarque la présence de chenaux circum-nodulaires (planche II.5). La grande majorité des vides est représentée par des cavités et des chenaux, plus ou moins anastomosés, de type méta, parfois mamelonnés. Ces chenaux qui traversent les agrégats de grande taille sont assez souvent en relation avec les vides circum-nodulaires. On obtient ainsi un réseau dense de chenaux organisé de façon relativement complexe. Les fentes sont assez peu nombreuses et se concentrent essentiellement autour des agrégats. Les vides d'entassement sont

PLANCHE II

1. *Micro-agrégats* : Des micro-agrégats de différentes tailles occupent la partie gauche de la photographie. La zone droite représente une plage de fond matriciel où ne sont visibles que quelques taches plus foncées de concentration d'hydroxydes.
Lame BCV 73 (Y. CHATELIN), 100×, LPNA.
2. *Activité biologique* : Elle se manifeste par la présence d'aggroutubules. Au centre de cette photographie la plage ovale blanche remplie de micro-agrégats de petites tailles est un aggroutubule. Un deuxième existe dans le coin gauche.
Lame BCV 73 (Y. CHATELIN), 400×, LPNA.
3. *L'illuviation dans les horizons à concentration d'éléments grossiers ferrugineux* : Au centre de la photographie on remarque un ferriargillane zoné, fortement orienté et fissuré. La tache noire de la partie gauche de la photographie représente une fraction de nodule ferrugineux.
Lame AGB 235.b, 100×, LPNA.
4. *L'illuviation dans un nodule* : Détail d'une portion de nodule montrant un ferriargillane zoné (bandes alternativement gris clair et gris foncé dans la partie centrale de la photographie.) Ce ferriargillane fait actuellement partie du nodule. L'ensemble du nodule est entouré par un cortex noir d'oxydes ou d'hydroxydes de fer qui englobe le ferriargillane.
Lame AGB 235.b, 100×, LPNA.
5. *Nodule ferrugineux* : Il se caractérise ici par une richesse en grains de quartz (taches blanches à l'intérieur de la masse noire située au centre de la photographie). Autour du nodule on remarque un fin liseré blanc représentant le vide circumnodulaire.
Lame AGB 586.2, 40×, LPNA.
6. *Concrétion ferrugineuse* : La structure en couches concentriques alternativement gris clair et gris foncé est nettement visible.
Lame AGB 471.1, 100×, LPNA convergente.



pratiquement inexistants ; on ne les observe que dans les rares plages où existent quelques micro-agrégats assez bien individualisés.

Tout ce système de vides, en particulier les chenaux circum-nodulaires, les cavités et les chenaux qui traversent les agrégats est colmaté entièrement ou en partie par des ferranes et des ferri-argillanes (planche II.3). Ces cutanes sont le plus souvent épais, zonés et fortement orientés. Elles représentent une phase illuviale plus récente que celles des gravillons. L'importance de cette illuviation semble en relation avec l'abondance des nodules ferrugineux. En effet, c'est dans les horizons les plus riches en nodules que l'on observe le plus grand nombre de ferranes et de ferri-argillanes et aussi de chenaux.

Certains horizons nodulaires sont marqués par la présence, dans le matériau fin, de plages décolorées blanches ou jaune clair. Ces plages sont relativement enrichies en squelette et pourraient représenter des zones éluviales. Elles sont parcourues par des chenaux, postérieurs à l'éluviation, dans lesquels se déposent des ferri-argillanes fortement orientés et colorés en rouge. Ces phénomènes s'observent dans les horizons à concentration d'éléments grossiers les plus profonds qui sont assez souvent touchés par l'hydromorphie. Ces cutanes sont en général moins épais et moins colorés que ceux décrits précédemment.

L'analyse micromorphologique des horizons d'accumulation d'éléments grossiers ferrugineux donne une idée de la complexité de ces niveaux. Ils se caractérisent donc par l'existence de périodes d'illuviation successives qui dans certains cas alternent avec des périodes d'éluviation encore visibles.

2.2 - Dans les sols hydromorphes

Dans les sols hydromorphes ou dans les sols ferrallitiques plus ou moins touchés par l'hydromorphie, sur des roches souvent très différentes, les caractères micromorphologiques observés sont très voisins que ce soit pour l'illuviation, pour la micro-agrégation ou pour l'assemblage plasmique. L'exemple choisi est un sol hydromorphe développé sur un matériau très sableux (grès-quartzite).

2.2.1 - CARACTÈRES GÉNÉRAUX ET MORPHOLOGIE

Les sols prélevés sont situés à 30 kilomètres au sud-ouest de Bangui, à une altitude de 360 mètres. Ils constituent le prolongement hydromorphe de la Grande

Série de Bimo (CHATELIN *et Col.*, 1972). Leurs coordonnées géographiques sont 4°17' de latitude nord pour une longitude est de 18°21'. La pluviométrie et la température annuelles moyennes sont respectivement de 1 550 mm et de 26 °C. Les sols sont situés en bas de pente aux pieds de collines à versants courts, arrondis et convexes du type « demi-orange ». La végétation forestière est assez fortement dégradée. Les bas-fonds où se développent ces sols sont parcourus par des marigots au cours sinueux, à écoulement très lent qui ne sont jamais asséchés, même au plus fort de la saison sèche.

Les profils sont extrêmement sableux quel que soit l'horizon considéré. Seuls les horizons de surface humifères, gris (10 YR 4/1) et peu contrastés ne présentent pas de traces d'hydromorphie sauf tout à fait à leur base. Les horizons inférieurs beiges (10 YR 6/3) ou blancs (10 YR 7/1) sont partiellement ou complètement hydromorphes. Ils sont sensiblement plus riches en argile que les horizons de surface. Leur teneur reste cependant modeste et ce n'est que très profondément que les taux d'argile deviennent réellement importants.

2.2.2 - MICROMORPHOLOGIE

Malgré leur faible teneur en argile, ces horizons se caractérisent par une illuviation argileuse très importante. La majorité des particules inférieures à deux microns semblent être concentrée dans les argillanes. Le plasma de ces horizons assez peu représenté, se particularise, en lumière polarisée non analysée, par son aspect granulaire dû à l'existence d'une très grande quantité de minuscules granules de 3 à 6 microns de diamètre. La plus grande partie de ces granules est vraisemblablement constituée de très fins grains de quartz.

Le squelette quartzéux représente 40 à 60 % des lames. Les caractères morphologiques des grains de quartz sont très proches de ceux des profils précédents, avec une attaque chimique plus accentuée (picotis, golfes de corrosion très abondants). On distingue un macrosquelette regroupant les individus dont le diamètre est compris entre 150 et 300 microns et un microsquelette qui rassemble les quartz d'un diamètre variant entre quelques microns et quelques dizaines de microns. La répartition des différents individus se fait au hasard et il ne semble pas exister d'arrangement du type laminaire. Cependant dans les fissures de quelques éléments squelettiques de grande taille on observe parfois une concentration de très petits grains de quartz de quelques microns de diamètre. Cette concentration peut résulter d'un léger

déplacement de la fraction fine quartzeuse à l'intérieur du fond matriciel. Les minéraux accessoires peu abondant sont représentés essentiellement par du disthène ; un peu de tourmaline et d'épidote. L'arrangement relatif du squelette par rapport au plasma est *granulaire* ou *intertextique* pour le macrosquelette et *aggloméroplasmique* pour le microsquelette. Le plasma granulaire montre une orientation plasmique variée. *Asépique* à *vo-squel-insépique* à la partie supérieure des horizons il devient *masépique* et *vo-masépique* lorsqu'on se rapproche des horizons d'altération (planche III-2).

Dès la base des horizons humifères l'illuviation est sensible, mais elle se révèle dans toute son ampleur au niveau des horizons hydromorphes. Tous les cutanes observés permettent de mettre en évidence plusieurs périodes illuviales qui se sont succédées dans le temps.

— La plus ancienne, fossile actuellement est représentée par des *papules* (fragments de cutanes composés visibles à l'intérieur de la masse du fond matriciel).

— Plus récemment se sont déposés dans les chenaux et dans les cavités des argillanes composés et de très rares ferri-argillanes. Les ferri-argillanes ne sont visibles qu'à la partie supérieure des horizons. Ces cutanes d'illuviation vraisemblablement actifs actuellement sont très épais. Leur épaisseur moyenne varie entre 200 et 400 microns (planche III-3 et 4).

— La phase illuviale la plus récente se manifeste par la présence de fins argillanes de 40 à 60 microns d'épaisseur. Ils se localisent dans les fentes et autour des gros grains de squelette et autour des micro-agrégats bien individualisés (planche III-1).

Le nombre de ces périodes peut être différent selon les profils observés, mais dans tous les cas l'illuviation argileuse est complexe et se compose d'une succession de périodes que l'on peut distinguer par la nature des dépôts, par leurs différences morphologiques ou surtout par leur position relative.

En même temps que l'illuviation, ces horizons révèlent des caractères micromorphologiques de micro-agrégation qui semblent leur être particuliers. Le fond matriciel (plasma et squelette fin) s'ordonne en micro-agrégats à sections approximativement carrées ou rectangulaires dont les angles sont en général arrondis (planche III-1). L'arrangement plasmique à l'intérieur des micro-agrégats est *insépique* plus ou moins net et à la base de l'horizon il devient plus accentué ; il est alors *lattisépique*.

Lorsque les micro-agrégats sont incomplètement individualisés ils sont séparés par un réseau orthogonal de fentes plus ou moins larges. Par contre, dans les zones à micro-agrégats parfaitement isolés, on n'observe plus que des vides d'entassement. Cette modification de la porosité en fonction du degré d'individualisation des micro-agrégats rappelle ce qui a été observé précédemment dans les sols rouges. Cependant, ces micro-agrégats d'horizons hydromorphes se distinguent de ceux des profils rouges par leur forme qui n'est ni arrondie ni ovoïde, par leur arrangement plasmique plus marqué et surtout par une structure beaucoup plus simple. Ils se présentent comme une masse de fond matriciel sans différenciation, limitée extérieurement par un cortex orienté de très faible épaisseur.

Le résultat de ces observations micromorphologiques nous amène à distinguer deux types morphologiques de micro-agrégats : ceux des sols rouges et ceux des horizons hydromorphes. Les données restent insuffisantes pour préciser s'il s'agit de deux stades d'évolution différents d'un même type de micro-agrégats ou si ces deux morphologies sont le résultat de deux évolutions distinctes.

Tous ces traits micromorphologiques se retrouvent, plus ou moins nettement exprimés, dans tous les horizons marqués par l'hydromorphie des sols observés jusqu'à ce jour en République Centrafricaine. L'illuviation argileuse est toujours importante. Si elle se limite ici à des argillanes, dans les horizons hydromorphes des sols ferrallitiques il est fréquent d'observer aussi des ferri-argillanes et même des ferranes. L'arrangement plasmique de ces horizons est pratiquement toujours accentué. Il est *masépique*, *bi-masépique* ou *vo-masépique* ; dans les cas les moins nets il est *in-lattisépique* ou *ma-lattisépique*. Ce n'est qu'au contact d'horizons non hydromorphes qu'il devient peu marqué (faiblement *insépique*) ou absent (*asépique*). Le dernier caractère marquant de ces horizons est la présence des micro-agrégats à sections carrées ou rectangulaires, sans organisation interne nette et à arrangement plasmique *insépique* ou *lattisépique*.

2.3 - Dans les horizons d'altération

L'illuviation très accentuée dans les deux types d'horizons décrits précédemment se retrouve de façon peut-être un peu plus discrète dans les niveaux d'altération. C'est dans les horizons d'altération de mica-schistes et granito-gneiss qu'elle a été observée avec le maximum de puissance. Dans les roches quartzeuses (grès, quartzite) le phénomène semble beaucoup plus

PLANCHE III

1. *Micro-agrégation dans un horizon hydromorphe* : La section des micro-agrégats est approximativement carrée ou rectangulaire (les angles sont arrondis). Chaque micro-agrégat est entouré d'un fin liséré brillant d'argiles assez fortement orientées (argillanes). Les zones noires de la photo représentent les vides.

Lame YOB 133, 100×, LPA.

2. *Arrangement masépique dans un horizon hydromorphe* : Les fines traces blanches et brillantes représentent les séparations plasmiques constituées d'argiles orientées ; ces lignes sont sub-parallèles. Les taches blanches plus ou moins arrondies sont des grains de quartz. Les vides sont noirs sur la photographie.

Lame YOB 355, 100×, LPA.

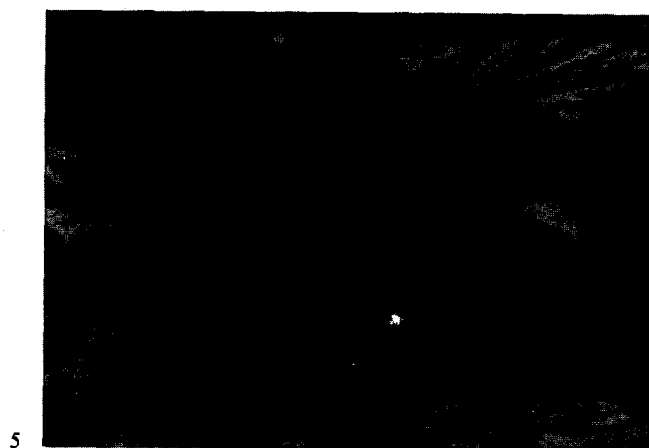
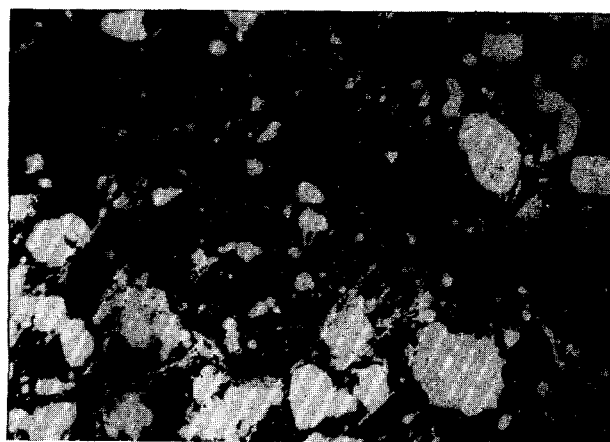
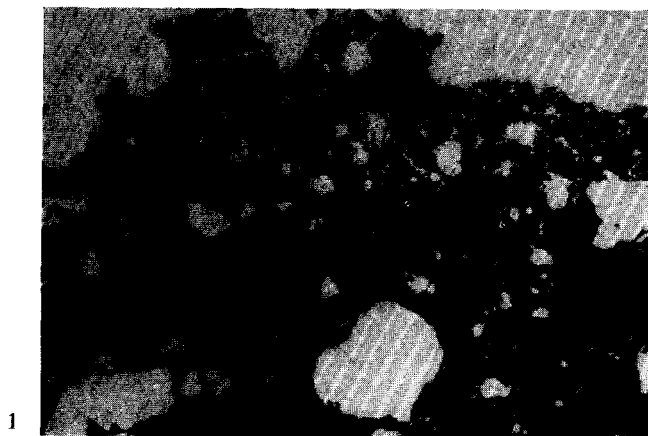
3 et 4. *L'illuviation dans les horizons hydromorphes.*

Chaque photographie représente un argillane de vide. Cet argillane est complexe et composé de dépôts successifs visualisés par les bandes alternées gris clair et gris plus foncé. Les zones gris foncé qui apparaissent granulaires correspondent au plasma. Toutes les plages blanches finement ponctuées de noir caractérisent les vides.

Lame YOB 144, 100×, LPNA.

5. *L'illuviation dans un horizon d'altération* : Au centre de la photographie on remarque une fissure contenant de l'intérieur vers l'extérieur : un mélange d'argile et de fer (bande grise centrale) et des oxydes ou hydroxydes de fer (bandes noires). Le reste de la photographie montre les cristaux de muscovite plus ou moins altérés qui constituent le micaschiste.

Lame AGB 236.1, 400×, LPNA.



réduit. Seuls les horizons d'altération de micaschistes seront décrits dans ce paragraphe.

Ces horizons se caractérisent par la coexistence de reliques de micaschistes plus ou moins transformées parcourues par un réseau assez important de fissures, et d'un matériau plus spécifiquement pédologique très argileux riche en micas altérés le plus souvent complètement transformés en kaolinite.

— *Le matériau pédologique* : il se définit par un plasma très argileux fortement orienté. L'arrangement plasmique est le plus souvent de type *masépique* très net. Cet arrangement très accentué est dû en partie à la présence de lits micacés, complètement altérés, dont le litage primitif renforce l'orientation plasmique. Lorsque ce matériau est plus évolué, l'orientation plasmique devient moins accentuée et se rapproche des types *lattisépique* et *insépique*. Dans ces zones, l'activité biologique est relativement intense. Un des caractères principaux de ces plages est une illuviation importante. En effet, elles sont parcourues par un réseau de vides importants dont les parois sont le plus souvent recouvertes par des cutanes assez épais. Ce sont, dans la majorité des cas des ferri-argillanes et des ferranes de plusieurs centaines de microns d'épaisseur. Lorsque ces niveaux sont marqués par l'hydromorphie, il apparaît en plus des argillanes. Cette illuviation semble être postérieure à la mise en place du matériau pédologique.

— *Les reliques de micaschiste* : ces reliques constituées de muscovite plus ou moins transformée en kaolinite sont parcourues par tout un réseau de fissures en général assez larges. Dans ces fissures s'accumulent des éléments fins sous forme de ferri-argillanes et de ferranes le plus souvent très épaisses (planche III-5). Dans ce cas l'illuviation est contemporaine de l'altération.

Cette illuviation déjà décelable sur le terrain, s'exprime dans toute son ampleur à l'échelle microscopique et permet de différencier deux structures illuviales, contemporaine ou postérieure à l'altération de la roche.

CONCLUSIONS

De cette première analyse micromorphologique plusieurs caractères se dégagent qui sont liés, soit à la pédogenèse ferrallitique, soit à des manifestations pédologiques qui dépassent largement le cadre des sols ferrallitiques.

Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. X, n° 4, 1972 : 357-371.

— La micro-agrégation qui s'observe dans les sols rouges profonds du Nord-Ouest de la République Centrafricaine semble être un caractère qui dépend assez étroitement de la pédogenèse ferrallitique. Ces micro-agrégats de structure complexe révèlent, dans le cas le plus complet, de l'intérieur vers l'extérieur, un noyau central enrichi en hydroxydes de fer, entouré d'une couche de fond matriciel peu modifié et limité extérieurement par un cortex orienté. La formation des micro-agrégats s'accompagne d'une modification de l'arrangement plasmique qui passe au fur et à mesure de leur individualisation, de masépique à in-lattisépique puis à insépique ou asépique. De la même façon, la porosité de fentes qui existe quand les micro-agrégats sont peu formés se transforme en porosité de vides d'entassement lorsque ces micro-agrégats sont bien isolés.

Le deuxième caractère marquant de ces sols est l'absence pratiquement totale de cutanes d'illuviation, bien que leur porosité soit élevée.

— Par contre, l'illuviation visible dans certains horizons de sols ferrallitiques de RCA, représente la manifestation d'un phénomène très général visible dans beaucoup de sols autres que les sols ferrallitiques. Elle se manifeste d'une façon particulièrement intense dans les horizons à accumulation d'éléments grossiers ferrugineux, dans les horizons d'altération et dans les horizons hydromorphes... Cette illuviation est toujours complexe et révèle l'existence de plusieurs phases illuviales qui se sont succédé dans le temps. Certaines de ces périodes sont fossiles alors que d'autres semblent encore évoluer actuellement.

En conclusion, si certains sols évoluant sous climat tropical humide sont marqués par des caractères originaux qui paraissent spécifiques de la pédogenèse ferrallitique, dans d'autres, les traits pédologiques les plus visibles relèvent de phénomènes pédogénétiques beaucoup plus généraux.

BIBLIOGRAPHIE

- BEAUDOU (A.G.), 1971. — Sols rouges et beiges. Etude d'une séquence sur quartzite en pays ferrallitique forestier (RCA). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, IX, 1, pp. 39-79.
- BEAUDOU (A.G.), 1972. — Etude micromorphologique des sols beiges forestiers de la région de Bangui. Leur place dans la classification. ORSTOM, Bangui, 9 p. *multigr.*, 3 pl.
- BEAUDOU (A.G.), 1972. — Structure micromorphologique des sols aliatiques Centrafricains. ORSTOM, Bangui, 14 p. *multigr.*, 7 pl.

- BEAUDOU (A.G.), 1972. — Micromorphologie de quelques sols ferrallitiques rouges à lepto- et brachy-apexols sur gravolites. ORSTOM, Bangui, 19 p. *multigr.*, 7 pl.
- BOCQUIER (G.), 1971. — Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. *Thèse Sci. Strasbourg*, ORSTOM, Paris, 364 p. *multigr.*
- BREWER (R.), 1964. — Fabric and mineral analysis of soils. J. Wiley & Sons, New York, XIV-470 p.
- CHATELIN (Y.), MARTIN (D.), 1972. — Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, X, 1, pp. 25-43.
- CHATELIN (Y.), BOULVERT (Y.), BEAUDOU (A.G.), 1972. — Typologie sommaire des principaux sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux étudiés en République Centrafricaine. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, X, 1, pp. 59-75.
- CHAUVEL (A.), 1972. — Contribution des études granulométriques et microscopiques à l'étude des matériaux pédologiques. ORSTOM, in *Bull. Liaison Thème A*, pp. 43-63, *multigr.*
- FAUCK (R.), 1971. — Contribution à l'étude des sols des régions tropicales. Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique Occidentale. *Thèse Sci. Strasbourg*, Centre ORSTOM, Dakar, 377 p., *multigr.*
- HALMILTON (R.), 1964. — Microscopic studies of laterite formations. in « Soil Micromorphology ». Proceedings of the 2nd international working-meeting on soil micromorphology Arnhem, the Netherlands, sept. 22-25, 1964. Elsevier, pp. 269-276.
- KUBIENA (W.L.), 1954. — Micromorphology of laterite formation in Rio Muni (spanish Guinea). *Int. Cong. Soil. Sci.* 5. Leopoldville. Vol. IV, pp. 77-84.
- RUTHERFORD (G.K.), 1964. — Observations on the origin of a cutan in the yellow-brown soils of the highlands of New-Guinea. in « Soil Micromorphology » Proceedings of the 2nd international working-meeting on soil micromorphology Arnhem, the Netherlands sept. 22-25, 1964. Elsevier, pp. 237-240.
- STOOPS (G.) 1968. — Micromorphology of some characteristics soils of the lower Congo (Kinshasa). *Pédologie (Ghent)* 18 1 pp. 110-149.
- U.S.D.A. 1960. — Soil classification. A comprehensive system. 7th Approximation. U.S.D.A. Washington 265 p.
- U.S.D.A. 1967. — Supplement to soil classification system A comprehensive system. 7th approximation. U.S.D.A. Washington VI-207 p.